

УДК 621.273

**Г.А. Холодняков, А.В. Половинко, Д.Н. Лигоцкий**

## **ЭКОЛОГИЧНАЯ РАЗРАБОТКА КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД С ПОМОЩЬЮ ГИДРОМОЛОТОВ**

*Сформулированы проблемы отрасли, предложены решения основных из них. Представлена малоотходная технология разработки скальных горных пород, позволяющая значительно снизить уровень потерь и засорения при добыче полезных ископаемых. Изложена методика выбора технологического оборудования, отмечены достоинства предложенной технологии. Рассмотрены оптимальные параметры взаимодействия гидромолота с разрушаемой породой. Предлагаемый метод позволяет повысить производительность гидромолота без повышения энергозатрат по сравнению с традиционным способом, а также позволяет снизить пылевыделение.*

*Ключевые слова: безвзрывной способ, гидравлические молоты, разработка скальных горных пород.*

---

**Н**аряду с высоким уровнем потерь горно-добывающая промышленность характеризуется также и высоким уровнем загрязнения окружающей среды. Особенно четко это проявляется на открытых горных работах, проводимых с использованием буровзрывной технологии. При проведении массового взрыва на карьере в атмосферу выделяются  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$  причем загрязнения носит как местных, так и общих характер. При бурении скважин выделяется большое количество пыли. Кроме этого нельзя не отметить негативного сейсмического эффекта взрыва и сопровождающего его шума.

В последние годы в связи с ужесточением экологических требований и ростом экологической культуры населения при отработке отдельных месторождений логичным становится отказ от традиционного безвзрывного способа подготовки горной массы к выемке.

В зарубежной практике горного производства все большее распространение находит безвзрывной способ, при котором разрушение обрабатываемой среды из крепкого материала осуществляется путем нанесения на него ударных импульсов различной частоты и мощности, генерируемых специальными навесными гидравлическими молотами, которые устанавливаются на серийно выпускаемые гидравлические экскаваторы.

Исследование вопроса взаимодействия ударника с породой с целью изучения механизма разрушения и выявления рациональных схем приложения нагрузки, ведущих к увеличению разрушенной части без дополнительных энергозатрат представляется весьма перспективным.

При существующих режимах ударного разрушения возможны следующие схемы разрушения породы [6]:

1) одиночным нормальным ударом, исключая возможность

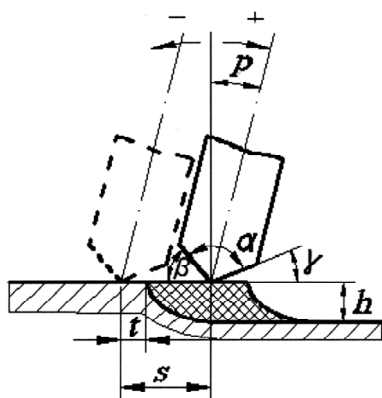
взаимодействия перекрытия двух соседних следов от ударов;

2) ударом с односторонним сколом в сторону обнаженной поверхности оставшейся от предыдущих ударов.

3) ударом с двусторонним сколом, когда он наносится по выступу, образовавшемуся при предыдущих ударах.

В работах [1, 2, 5, 6, 7] и других указывается на значительное влияние при встрече ударника с разрушаемой средой. Один из выводов [5] — утверждение о наиболее эффективном разрушении горной породы только при ударе, направленном по нормали ее разрушаемой поверхности.

На рис. 1 представлена схема одностороннего скола клиновидным ударником, где  $\rho$  — угол отклонения оси ударника от нормали к разрушаемой поверхности;  $\alpha$  — угол заострения ударника;  $\beta$  — передний угол ударника;  $\gamma$  — задний угол ударника;  $h$  — высота слоя разрушения, образованного предыдущими ударами;  $t$  — ширина уступа (расстояние от края скола до точки приложения следующего удара);  $S$  — шаг между ударами.

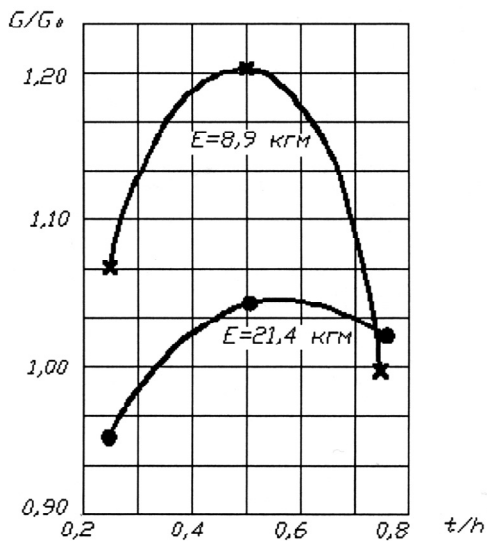


**Рис. 1. Схема одностороннего скола клиновидным ударником**

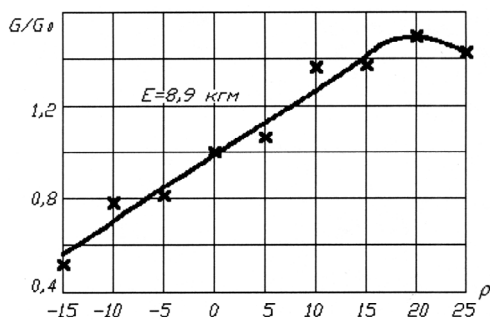
Численное исследование напряженного состояния уступа под клиновидным ударником с учетом возможных траекторий трещин в горных породах показало [7], что наилучшим, с точки зрения увеличения отколотой части, отношением расстояния от уступа до точки приложения нагрузки к высоте уступа при нормальном ударе будет отношение, близкое к 0,5. Это значение было получено расчетным путем. Экспериментально оно было доказано позже в работе [6], где была получена графическая зависимость влияния относительной ширины уступа при нормальном приложении нагрузки на эффективность разрушения. Определялось отношение веса разрушенной породы при нормальном ударе на уступ к весу разрушенной породы при ударе без перекрытия следов для различных значений относительной ширины уступа.

На рис. 2 приведены указательные зависимости для исследуемых в эксперименте значений энергии удара. Анализируя эту зависимость можно предположить, что увеличение энергии удара не влечет за собой увеличения эффективности разрушения. А ведет лишь к тому, что эффективность разрушения более стабильна при любом  $t/h$ . Вероятно, что увеличение энергии удара до  $30 \div 40$  кГм будет наблюдаться прямая зависимость  $G/G_0 = f(t/h)$ .

Следующим параметром ударного разрушения является угол наклона оси удара на уступ при найденном оптимальном шаге между ударами. Зависимость отношения веса разрушенной породы при произвольном угле удара на уступ с оптимальным шагом к весу разрушенной породы при нормальном ударе от изменения угла удара были исследованы ранее другими авторами и представлена на рис. 3 для  $E = 8,9$  кГм [3].



**Рис. 2.** Зависимость влияния относительной ширины уступа при нормальном приложении нагрузки на эффективность разрушения



**Рис. 3.** Зависимость отношения веса разрушенной породы при произвольном угле удара на уступ с оптимальным шагом к весу разрушенной породы при нормальном ударе от изменения угла удара

Из характера приведенной зависимости видно, что при отклонении направления удара в сторону от уступа (отрицательное значение угла  $\rho$ , см. рис. 1), уменьшается эффективность разрушения, а наклон в сторону уступа (положительное значение угла  $\rho$ )

ведет к увеличению количества разрушенной породы. Причем характер зависимости прямолинейный.

Максимальная эффективность разрушения наблюдается при угле наклона оси ударника  $20^\circ$ . Учитывая специфику открытых горных работ, оптимальным углом наклона ударника следует принимать угол  $15^\circ \div 25^\circ$ .

Нормальный удар на уступ с относительной шириной уступа 0,5 дает прирост эффективности разрушения для энергии удара  $E = 21,4$  кГМ около 5 % и для  $E = 8,9$  кГМ около 20 % по сравнению с ударом без взаимного перекрытия лунок разрушения, а наклон инструмента на  $\rho = 15^\circ$  для  $E = 8,9$  кГМ дает прирост эффективности разрушения около 40 % по сравнению с нормальным ударом на уступ с оптимальным шагом и почти на 70 % по сравнению с ударом без взаимного перекрытия лунок разрушения.

Причиной повышения эффективности разрушения может служить перераспределение энергии удара от измельчения породы к образованию систем трещин под ударником, что видимо, должно повлечь за собой увеличение крупности продуктов разрушения.

Прямым подтверждением перспективности разрушения пород гидромолотами является увеличение их производства. В настоящее время их производством занято более 50 фирм в различных странах, которыми выпускаются 670 различных типов гидромолотов.

Привлекательными для производителей горных работ при таком способе являются непрерывный цикл ведения горных работ, обеспечение визуального контроля над качеством отбитой горной массы, возможность селективной выемки и экологическая безопасность.

Экономическая целесообразность и себестоимость применения того или иного способа отбойки горной породы и соответствующей ей технологии, в частности безвзрывной, зависит от много факторов и, в первую очередь, от физико-механических характеристик горной породы, ее прочности и трещиноватости. По данным исследований немецких ученых под руководством профессора Х.Гоерген из университета RWTH (Ахен, Германия), применение гидравлических молотов оправдано при разработке крепких и абразивных пород. Фактор трещиноватости, являющийся усложняющим при буровзрывном способе, при безвзрывном, наоборот, является благоприятным, способствующим эффективному разрушению массива. [6]. Себестоимость отбойки буровзрывным способом, как показывает практика, в зависимости от физико-механических свойств пород составляет 30—55 руб./м<sup>3</sup>, а в случае обводнения массива и более. При применении гидромолотов себестоимость составляет 20—30 руб./м<sup>3</sup>, при этом величина обводнения не влияет на себестоимость.

При формировании отбойного агрегата в первую очередь исходят из характеристики гидромолота по производительности в зависимости от крепости разрабатываемых пород (рис. 4). Далее подбирается экскаватор, соответствующий выбранному гидромолоту. Естественно, что гидромолот большей производительности имеет больший вес и для него требуется более тяжелый экскаватор. Анализируя модельный ряд крупнейших производителей отбойных агрегатов (KRUPP, "Indeco", "Furacawa"), можно порекомендовать следующую аналитическую зависимость:

$$M = \frac{(80 \div 140)m}{\ln m},$$

где  $M$  — масса экскаватора, т.;  $m$  — масса гидромолота, кг (рис. 5).

К основным достоинствам безвзрывной технологии разрушения горного массива, в частности при применении гидромолота, при сравнении с традиционной буровзрывной технологией можно отнести следующее:

- снижение уровня потерь за счет более тщательной проработки контактных зон «порода-руда» в 2—3 раза;
- возможность ведения селективной выемки различных сортов руды;

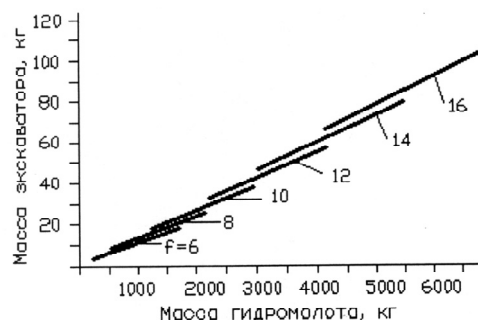


Рис. 4. Зависимость производительности гидромолота от энергии единичного удара

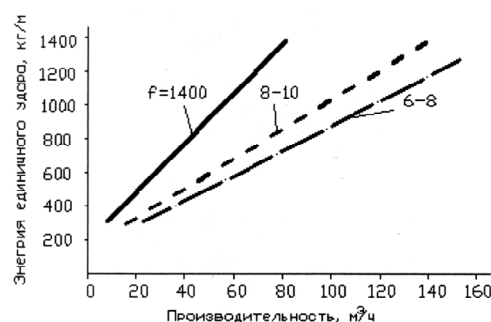


Рис. 5. Весовое соответствие между экскаватором и гидромолотом

- снижение загрязнения окружающей среды в районе ведения горных работ за счет отсутствия выбросов вредных газов и пыли;
- отсутствие сейсмического эффекта, сопровождающего взрывные работы;
- снижение уровня шума;
- увеличение производительности труда как следствие ведения непрерывного производственного процесса, не свойственного для буровзрывной технологии;
- снижение себестоимости добычи полезного ископаемого за счет исключения расходов, связанных с БВР;

- улучшение качества продукции карьера — нет смешения сортов руд.

Таким образом, безвзрывная технология разработки месторождений полезных ископаемых с использованием гидромолотов позволяет производить селективную выемку полезных ископаемых со значительным снижением их потерь, вести непрерывный контроль за качеством добытой руды, а также снижает негативное воздействие горных работ на окружающую среду, улучшает качество труда и безопасность горнорабочих.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов О.Д. О механизме разрушения горных пород при ударно-вращательном бурении бурильными молотками. — Известия ТПИ, 1974. — Т. 75.
2. Дементьев А.Д., Назаров Б.В. О разрушении уступа под клиновидным ударником. — ФТПРПИ, 1980. — № 6.
3. Дементьев А.Д., Назаров Б.В. Разрушение пород косо-направленной ударной нагрузкой. — ФТПРПИ, 1980. — № 8.
4. Дроллоп Д.Х. Введение в механику скальных пород. — М.: Мир, 1983. — 160 с.
5. Закаблукровский И.Г., Покровский Г.Н. К рациональной схеме приложения ударной нагрузки при бурении, — ФТПРПИ. 1970. № 2.
6. Каркашадзе Г.Г. Механическое разрушение горных пород. — М.: МГУ, 2004.
7. Куликов И.В. Бурение геолого-разведочных скважин погруженными клиновидными ударниками. — М., 1964.

ГИАБ

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Холодняков Г.А. — профессор,  
 Половинко А.В. — аспирант,  
 Лигоцкий Д.Н. — доцент,  
 Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова (технический университет) fortemb14@gmail.com

